Nghiên cứu thiết kế cấu trúc mạch tăng áp DC/DC trong bộ biến đổi nguồn điện Pin mặt trời

Nguyễn Đức Minh[1], Trịnh Trọng Chưởng[2*], Đào Huy Du[3]

[1]Viện Khoa học năng lượng - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam;
[2]Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội;
[3]Đại học Kỹ thuật Công nghiệp Thái Nguyên.
[*]Email: chuongtt@haui.edu.vn
Nhận bài: 16/5/2022; Hoàn thiện: 10/6/2022; Chấp nhận đăng: 15/6/2022; Xuất bản: 28/6/2022.
DOI: https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.80.2022.13-22

TÓM TẮT

Bộ tăng áp DC/DC trong hệ Pin mặt trời được thiết kế cần có điện áp vào phù hợp với điện áp ra của tấm Pin mặt trời (thường nằm trong phạm vi 24 V ÷ 40 V). Bộ biến đổi này có hệ số biến đổi điện áp phù hợp với tải, kích thước nhỏ gọn, tỷ số biến đổi điện áp cao, hiệu suất mạch lớn. Đồng thời, linh kiện trong bộ DC/DC cần phổ biến để phù hợp cho công tác nhân rộng, phù hợp với việc nhiều tấm Pin mặt trời có xuất xứ khác nhau tích hợp ở đầu vào bộ DC/DC. Theo quan điểm đó, cấu trúc bộ tăng áp DC/DC cần có nhiều đầu vào có thể sẽ có điện áp khác nhau theo dải phù hợp với điện áp ra của tấm Pin, tổn thất trong mạch cần giảm xuống mức tối thiểu, độ nhấp nhô dòng điện qua cuộn cảm thấp, điện áp đầu ra được cân bằng, ổn định. Nếu giải quyết được các vấn đề kỹ thuật nêu trên cũng là góp phần giải quyết các thách thức đang đặt ra đối với các bộ tăng áp DC/DC nói chung và cho nguồn điện Pin mặt trời nói riêng. Bài báo này trình bày kết quả thiết kế mô phỏng một cấu trúc bộ DC/DC mới ứng dụng trong bộ biến đổi nguồn điện Pin mặt trời. Kết quả mô phỏng cho thấy: hiệu suất của bộ tăng áp DC/DC đạt đến 97,05% ở tần số đóng cắt 15 kHz.

Từ khoá: Bộ biến đổi tăng áp DC/DC; Tần số đóng cắt f_s; Hệ số chu kỳ D.

1. MỞ ĐẦU

Bộ biến đổi trong nguồn điện Pin mặt trời gồm 2 cấu trúc cơ bản: bộ biến đổi DC/DC và bộ biến đổi DC/AC [1]. Trong thực tế, hiệu suất của bộ biến đổi DC/DC không phải là hằng số mà phụ thuộc vào công suất truyền tải qua nó [2, 3]. Hiệu suất của bộ biến đổi DC/DC thông thường chỉ đạt cực đại trong phạm vi 50%-60% công suất thiết kế và giảm nhanh nếu công suất qua nó càng nhỏ [4]. Tuy nhiên, ở các tấm pin mặt trời, công suất của nó có thể không cố định, công suất đạt định mức ở khoảng thời gian gần trưa và công suất đầu ra nhỏ vào lúc sáng và chiều [5], thời gian công suất bé hơn 40% có thể đạt vài giờ trong ngày, chưa kể đến hiện tượng bóng che và ngày ít nắng. Như vậy, trong trường hợp này, công suất chạy qua DC/DC sẽ khá nhỏ (nhỏ hơn 40%) nên hiệu suất của bộ biến đổi DC/DC rất thấp. Vì vậy, việc thiết kế một bộ biến đổi DC/DC có hiệu suất cao là rất cần thiết. Nhiều tác giả đã đưa ra cấu trúc của bộ biến đổi DC/DC với hiệu suất cao [6-9]. Hầu hết các nghiên cứu này đều nhằm giảm tổn thất trong bộ chuyển đổi và từ đó nâng cao hiệu suất của bộ chuyển đổi. Hiệu suất của nó vẫn phụ thuộc vào công suất đi qua nó. Điều đó có nghĩa rằng, trong khoảng thời gian công suất đầu ra của tấm Pin mặt trời rất thấp thì hiệu suất của bộ chuyển đổi DC/DC vẫn rất thấp.

Nhiều nghiên cứu đã thiết kế một bộ chuyển đổi DC/DC áp dụng vào hệ thống điện mặt trời nhằm cải thiện hiệu suất của cả hệ thệ thống điện mặt trời. Trong [3] đã thiết kế một bộ chuyển đổi DC/DC được cấu tạo từ nhiều bộ chuyển đổi DC/DC có công suất nhỏ để tạo ra công suất đủ lớn và một số trong các bộ chuyển đổi DC/DC nhỏ đó có thể được ngừng làm việc trong suốt thời gian công suất đầu ra của PV nhỏ. Các bộ chuyển đổi nhỏ này được nối song song ở đầu vào và nối nối tiếp ở đầu ra nhằm đạt được điện áp đầu ra mong muốn. Kết quả cho thấy, bộ chuyển đổi DC/DC làm việc tốt và hiệu suất của bộ chuyển đổi DC/DC được cải thiện trong giai đoạn

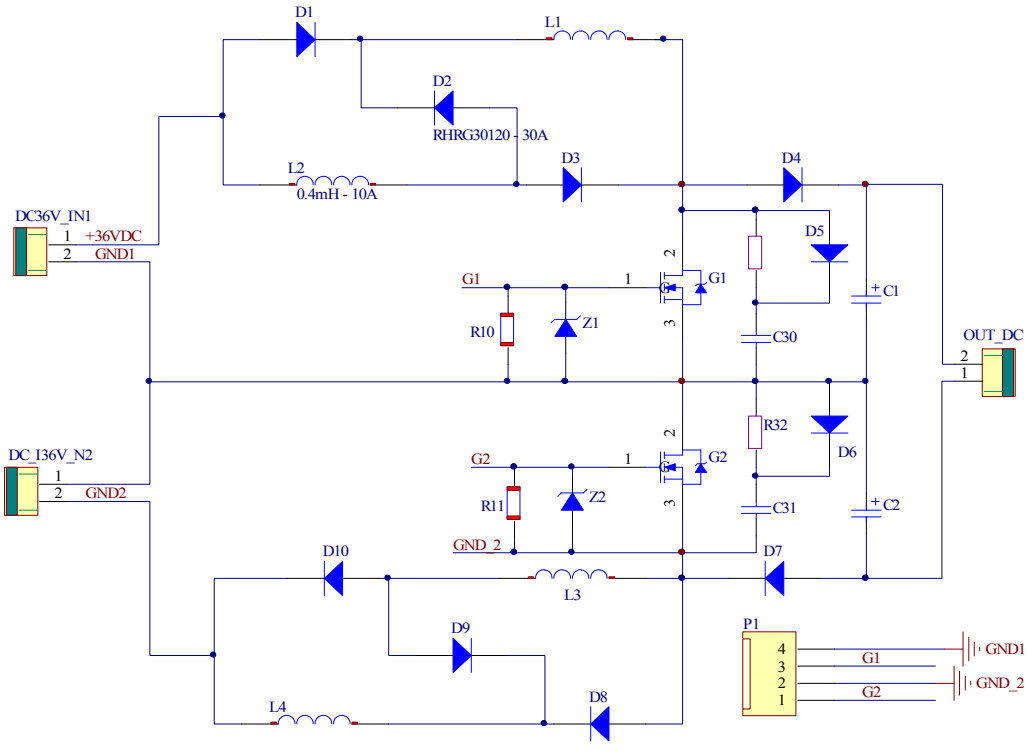
cường độ bức xạ mặt trời thấp, Tuy nhiên, do bộ biến đổi có máy biến áp cách ly nên tổn thất còn cao, hiệu suất chỉ đạt tối đa 91,5%. Ở các tấm pin mặt trời, công suất đầu ra không cố định, công suất đạt định mức ở khoảng thời gian gần trưa và công suất đầu ra nhỏ vào lúc sáng và chiều [5], thời gian công suất bé hơn 40% có thể đạt vài giờ trong ngày, chưa kể đến hiện tượng bóng che và ngày ít nắng. Như vậy, trong trường hợp này, công suất chạy qua bộ biến đổi DC/DC sẽ khá nhỏ (nhỏ hơn 40%) nên hiệu suất của bộ chuyển đổi DC/DC rất thấp và phần lớn công suất bị tiêu hao trong bộ chuyển đổi. Vì vậy, việc thiết kế một bộ chuyển đổi DC/DC có hiệu suất cao là rất cần thiết.

Trong phạm vi bài báo này, chúng tôi đề xuất thiết kế một cấu trúc mạch tăng áp DC/DC mới. Phần đầu bài báo, chúng tôi giới thiệu cấu trúc tổng thể của bộ biến biến đổi tăng áp DC/DC. Phần tiếp theo là các kết quả mô phỏng đánh giá hiệu quả hoạt động của mạch tăng áp DC/DC đề xuất khi cho thay đổi hệ số chu kỳ D, tần số đóng cắt f_s và tải thay đổi.

2. CẤU TRÚC MẠCH BOOST DC/DC

2.1. Đề xuất cấu trúc mạch DC/DC đề xuất

Trong thực tế, công suất đầu ra của tấm pin mặt trời thay đổi tuỳ thuộc vào điều kiện thời tiết, trong khi công suất của bộ chuyển đổi được thiết kế với công suất lớn nhất của tấm pin. Vì vậy, hiệu suất của bộ chuyển đổi ở một số thời điểm, khi công suất nhỏ truyền qua nó, sẽ có giá trị không tốt. Để cải thiện hiệu suất của bộ chuyển đổi DC/DC, ta cần phải thiết kế bộ chuyển đổi mới để cải thiện hiệu suất của cả hệ thống điện mặt trời. Cấu trúc mạch DC/DC đề xuất cần đảm bảo mục tiêu: tỷ số điện áp cao, mức gợn sóng nhỏ, hiệu suất lớn và làm việc ổn định. Để đạt được điều này, mạch DC/DC đề xuất thiết kế theo cấu trúc dạng xếp tầng (hình 1).



Hình 1. *Cấu trúc mạch tăng áp DC/DC đề xuất.*

Cấu trúc này gồm các tầng ghép song song với nhau (nguồn dương và nguồn âm). Mỗi tầng sử dụng 01 Mosfet, 06 diode để chỉnh lưu. Hai điện trở Shunt R10 và R11 được dùng trong mạch để phản hồi tín hiệu dòng điện. Khi có dòng điện I chạy qua trở Shunt sẽ tạo ra một điện áp rơi

trên đó. Tín hiệu điện áp này được đưa về để đo lường đại lượng dòng điện trong mạch. Với cấu trúc này chúng ta có thể sử dụng cùng công nghệ chế tạo, dễ dàng tích hợp bộ chuyển đổi vào tấm pin khi hầu hết các linh kiện có cùng giá trị điện áp làm việc. Về bản chất, đây là 2 mạch boost DC/DC nối tầng ghép song song với nhau (tạo thuận lợi khi ghép nối tiếp nhiều tấm Pin mặt trời có các cấp điện áp ra khác nhau). Với cấu trúc trong hình 1, khi so sánh với cấu trúc của mạch DC/DC truyền thống có thể nhận thấy: cấu trúc này có 04 cuộn dây, trong đó mỗi tầng gồm 02 cuộn dây, 02 tụ điện ở đầu ra, 04 diode, và mỗi tầng có 01 mosfet.

Như vậy, hoạt động của mạch có thể chia làm hai pha: pha thứ nhất đầu vào là hai mạch hoạt động song song để chia dòng điện cấp cho cuộn cảm, pha thứ hai đưa điện áp ra tải được ghép nối tiếp nên có thể đưa ra điện áp lớn trên tải. Trong thời gian $T_{ON} = DT_{sw}$, G1 ở trạng thái dẫn và sơ đồ tương đương được thể hiện trong hình 1. Ở chế độ này, H1 và H2 mắc nối tiếp lần lượt với D1 và D3 rồi song song với nhau. Ở chế độ G1 mở, L1 và L2 mắc nối tiếp qua D2 và phóng năng lượng qua D4 để nạp điện cho tụ C1 và tải. Trong trường hợp này, dòng điện đi qua cuộn dây L2, qua D2, qua cuộn L1 và qua tụ C1. Khi đó $U_{C1} = U_{in} + U_{H2} + U_{H2}$. Như vậy, có thể thấy khi $D_1 = 0,5$ thì $U_{C1} = 3U$. Khi D2 mở ra, thì $U_{C2} = U_{in} + U_{H3} + U_{H4}$. và nếu D = 0,5 thì $U_{C2} = 3U$. Nói cách khác, mạch tăng áp DC/DC đề xuất có mức tăng áp đến 6 lần khi D = 0,5. Đây là mức tăng áp khá tốt khi đối chiếu với một số mạch tăng áp được nghiên cứu đề xuất trong thời gian gần đây [1, 2]. Mạch này cải tiến được hai hiện tượng tụ C bị phát nóng ở mạch truyền thống do bị nạp bởi các cuộn dây. Điều quan trọng nhất là D1 và D2 độc lập nhau tạo nên điện áp cân bằng cho U_{C1} và U_{C2} mà các mạch truyền thống không thực hiện được.

2.2. Xác định tỷ số biến đổi điện áp và tổn thất công suất trong mạch DC/DC

Tổn thất công suất trên các thành phần của bộ chuyển đổi tăng áp có thể chia thành: tổn thất dẫn, tổn thất động và tổn thất cố định. Tổn thất dẫn phụ thuộc trực tiếp vào tải, ít phụ thuộc tần số chuyển mạch. Tổn thất cố định không phụ thuộc tần số chuyển mạch cũng như tải, bao gồm dòng điện cung cấp cho bộ điều khiển công suất và dòng rò trên Mosfet, diode và tụ điện, các tổn thất này thường ít hơn so với tổn thất dẫn và tổn thất động, nên có thể bỏ qua. Khóa bán dẫn là thành phần chính gây ra tổn thất động trong bộ chuyển đổi. Trong quá trình chuyển đổi, tổn thất công suất có thể xảy ra trên các khóa bán dẫn với giá trị lớn. Mặc dù thời gian chuyển mạch của khóa bán dẫn rất ngắn nhưng tổn thất trung bình là đáng kể. Tổn thất động rất ít phụ thuộc vào công suất tải, nó phụ thuộc trực tiếp vào tần số chuyển mạch.

Tổn thất dẫn chủ yếu là do điện trở nội của các linh kiện và sụt áp trên chúng. Trong một bộ tăng áp điển hình, điện trở nội và tụ điện ký sinh gây ra tổn thất dẫn và tổn thất chuyển mạch. Tổn thất cuối cùng và phức tạp nhất là tổn thất động gây ra bởi đặc tính chuyển mạch của bộ chuyển đổi. Những tổn thất này gây ra bởi Mosfet, diode và lõi Ferrit của cuộn cảm. Vì tính chính xác và đơn giản, tổn thất lõi Ferit (Pcore) dựa theo dữ liệu của nhà sản xuất. Tổn thất động chủ yếu gây ra bởi Mosfet và diode. Trong quá trình chuyển mạch của các khóa bán dẫn không lý tưởng, điện áp và dòng điện tồn tại trên Mosfet trong một khoảng thời gian rất ngắn. Tuy nhiên, khi tần số chuyển mạch tăng, tổn thất công suất trong mạch cũng sẽ tăng lên. Do hai kênh dương và kênh âm của mạch có tính chất tương tự nhau, trong phần này, bài báo chỉ trình bày phương pháp xác định tỷ số điện áp và tổn thất ở một kênh (giải thiết chọn kênh dương). Để mạch làm việc đạt hiệu quả cao nhất, chọn $L_1 = L_2$. Điều kiện để dòng điện I_{in} hay I_{out} ổn định là:

$$2i_L^D(\mathrm{t}) + i_L^{1-D}(t) = 0 \tag{1}$$

Suy ra:

$$2\frac{V_{in}}{L}DT + \frac{V_{in} - V_{out}}{L}(1-D)T = 0 \tag{2}$$

Hay:

$$2V_{in}D + \left(V_{in} - V_{out}\right)\left(1-D\right) = 0 \tag{3}$$

Từ đó có được phương trình:

$$\frac{2V_{in}D}{\left(1-D\right)} + \left(V_{in} - V_{out}\right) = 0 \tag{4}$$

Suy ra:

$$V_{out} = \frac{2V_{in}D + V_{in}\left(1-D\right)}{\left(1-D\right)} = V_{in}\frac{1+D}{1-D} \tag{5}$$

Như vậy, điện áp ra của mạch sẽ là:

$$V_{out} = V_{out}^{(+)} + V_{out}^{(-)} = 2V_{in}\frac{1+D}{1-D} \tag{6}$$

Trong trường hợp đơn giản, nếu D = 0,5 thì $V_{out} = 6.V_{in}$ (điện áp đầu ra cao gấp 6 lần điện áp đầu vào). Thực tế: 0 < D < 1, do đó, $\frac{2V_{in}\left(1+D\right)}{\left(1-D\right)} > \frac{V_{in}}{1-D}$. Điều đó có nghĩa là, điện áp ra ở cấu trúc mạch DC/DC đề xuất có mức tăng áp cao hơn mạch truyền thống. Tổn thất trên cuộn dây chủ yếu là tổn thất Joule, được xác định bởi tổn thất trên 2 mạch nguồn dương và nguồn âm:

$$\begin{aligned}\Delta P_L &= \Delta P_L^D + \Delta P_L^{1-D} = 2R_L\left(\frac{I_{in}}{2}\right)^2 D + 2R_L I_{in}^2\left(1-D\right) \\ &= R_L I_{in}^2\left(2 - 2D + \frac{D}{2}\right) = R_L I_{in}^2\left(2 - \frac{3D}{2}\right)\end{aligned} \tag{7}$$

Khi đó, tỷ số biến áp sẽ là:

$$V_o = V_{in}\frac{1+D}{1-D} \Rightarrow I_{in} = I_o\frac{1+D}{1-D} \tag{8}$$

Từ các phương trình (7) và (8) có được:

$$\Delta P_L = R_L I_o^2\left(\frac{1+D}{1-D}\right)^2\left(\frac{4-3D}{2}\right) \tag{9}$$

Tổn thất trên các diode trong cấu hình mạch đề xuất được xác định bởi phương trình (10):

$$\begin{aligned}\Delta P_D &= \Delta P_D^D + \Delta P_D^{1-D} = R_{D1}\left(\frac{I_{in}}{2}\right)^2 D + R_{D3}\left(\frac{I_{in}}{2}\right)^2 D + \\ &+ R_{D2}I_{in}^2\left(1-D\right) + R_{D4}I_{in}^2\left(1-D\right)\end{aligned} \tag{10}$$

Nếu chọn $R_{D1} = R_{D2} = R_{D3} = R_{D4}$ thì

$$\Delta P_D = R_D I_{in}^2\left[\left(\frac{D}{2} + \frac{D}{2}\right) + 2\left(1-D\right)\right] = R_D I_{in}^2\left(D + 2 - 2D\right) = R_D I_{in}^2\left(2-D\right) \tag{11}$$

Từ các phương trình (10) và (11) xác định được tổng tổn thất trên các diode là:

$$\Delta P_D = R_D I_o^2\left(\frac{1+D}{1-D}\right)^2\left(2-D\right) \tag{12}$$

Tổn thất trên các khóa đóng cắt được xác định bởi phương trình (13):

$$\Delta P_S = \Delta P_S^D + \Delta P_S^{1-D} = R_S I_{in}^2 D + 0 = R_S I_{in}^2 D \tag{13}$$

Từ các phương trình (8) và (13) xác định được:

$$\Delta P_S = R_S I_o^2 \left(\frac{1+D}{1-D}\right)^2 D \tag{14}$$

Vậy tổng tổn thất trong mạch sẽ là tổng tổn thất trên cuộn dây, diode và các khóa đóng cắt:

$$\Delta P_\Sigma = \Delta P_L + \Delta P_D + \Delta P_S \tag{15}$$

Từ các phương trình (13), (14), (15) sẽ có được:

$$\Delta P_\Sigma = I_o^2 \left(\frac{1+D}{1-D}\right)^2 \left(R_L \frac{4-3D}{2} + R_D(2-D) + R_S D\right) \tag{16}$$

Mạch phía nguồn âm tương tự có cùng tổn thất, nên tổn thất toàn mạch là: $\Delta P_{toan\,mach} = 2\Delta P_\Sigma$

Hay:

$$\begin{aligned}\Delta P_{toan\,mach} &= 2I_o^2 \left(\frac{1+D}{1-D}\right)^2 \left(R_L \frac{4-3D}{2} + R_D(2-D) + R_S D\right) \\ &= I_o^2 \left(\frac{1+D}{1-D}\right)^2 \left[R_L(4-3D) + 2R_D(2-D) + 2R_S D\right]\end{aligned} \tag{17}$$

Do đó, hiệu suất của mạch được xác định bởi:

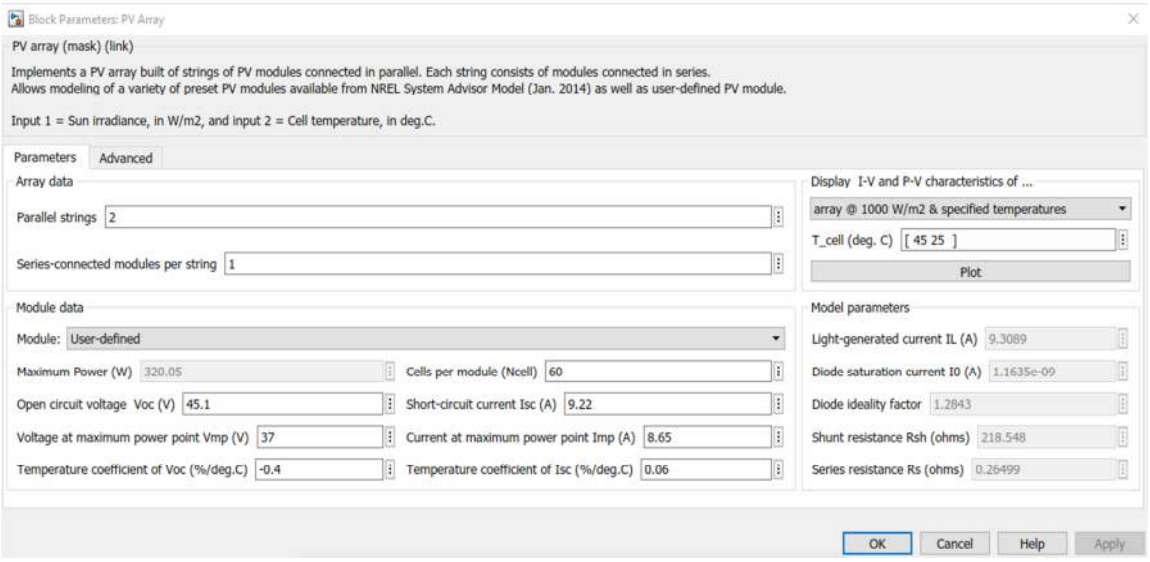
$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}}.100\% = \frac{P_{in} - \Delta P_{toanmach}}{P_{in}}.100\% \tag{18}$$

Như vậy, hiệu suất của bộ chuyển đổi này phụ thuộc vào công suất P_{in} đi qua nó. Thông thường, hiệu suất của bộ chuyển đổi DC/DC đạt giá trị lớn nhất khi công suất truyền qua nó có giá trị bằng công suất thiết kế. Khi công suất truyền qua bộ chuyển đổi nhỏ hơn nhiều so với công suất định mức của nó thì hiệu suất của bộ chuyển đổi sẽ suy giảm đáng kể. Để kiểm chứng hiệu quả của mạch tăng áp DC/DC đề xuất, phần tiếp theo của bài báo sẽ tiến hành mô phỏng và phân tích hiệu quả của bộ DC/DC đề xuất theo hệ số chu kỳ, tần số đóng cắt mạch và phụ tải.

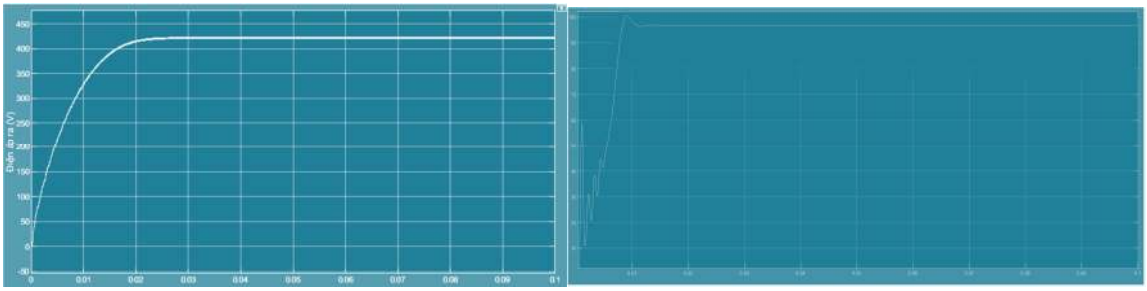
3. MÔ PHỎNG, ĐÁNH GIÁ CẤU TRÚC BỘ TĂNG ÁP DC/DC ĐỀ XUẤT

Mô hình mô phỏng mạch DC/DC được thực hiện trên phần mềm Matlab được cho trong hình 2 với giả thiết có 02 tấm Pin mặt trời làm nguồn cấp đầu vào được mắc nối tiếp. Kết quả mô phỏng đặc tính PV matrix từ thư viện được xây dựng trên Matlab&Simulink áp dụng cho tấm pin mặt trời có các thông số kỹ thuật như sau: Công suất cực đại P_{max} = 320,5 W; Điện áp hở mạch V_{OC} = 45,1 V; Dòng điện ngắn mạch I_{SC} = 9,22 A; Điện áp tại công suất cực đại V_{mp} = 37 V; Dòng điện tại công suất cực đại I_{mp} = 8,65 A. Nếu xem xét cường độ bức xạ mặt trời lên các tấm Pin là như nhau trong khoảng thời gian xem xét, với giá trị 1000 W/m^2. Trong hình 3 là kết quả biểu diễn dạng sóng điện áp đầu vào, đầu ra và hiệu suất của mạch thiết kế ứng với trường hợp D = 0,6; f = 15 kHz và tải 160 Ω. Các tham số của mô hình dùng để mô phỏng như sau: điện cảm L = 4 mH; tụ điện 100 μF; mạch đóng ngắt công suất sử dụng van bán dẫn công suất IGBT. Tần số điều chế lựa chọn 15 kHz đến 40 kHz, điện trở tải thay đổi từ 80 Ω đến 230 Ω. Hình 3 (cũng là điện áp ra của hai tấm Pin nối tiếp) đặc tính điện áp này phản ánh đúng với giá trị điện áp đặt vào mạch DC/DC. Giá trị điện áp ra phía tải như biểu diễn trong hình 3 gần đạt giá trị lý thuyết (426V), cụ thể là giá trị điện áp đầu ra đạt mức 422,1 V, có sự chênh lệch này là do có tổn thất điện áp trên các linh kiện, phần tử. Có thể thấy: dạng sóng điện áp ra có chất lượng khá tốt do tần số đóng cắt ở mức khá cao. Kết quả mô phỏng trong trường hợp này cũng cho thấy: mạch làm việc ổn định, hiệu suất mạch đạt giá trị

tối đa 97,05%. Nếu giảm tần số đóng cắt, hiệu suất mạch có thể tăng thêm nhưng ngược lại dạng sóng sẽ có chất lượng xấu hơn.

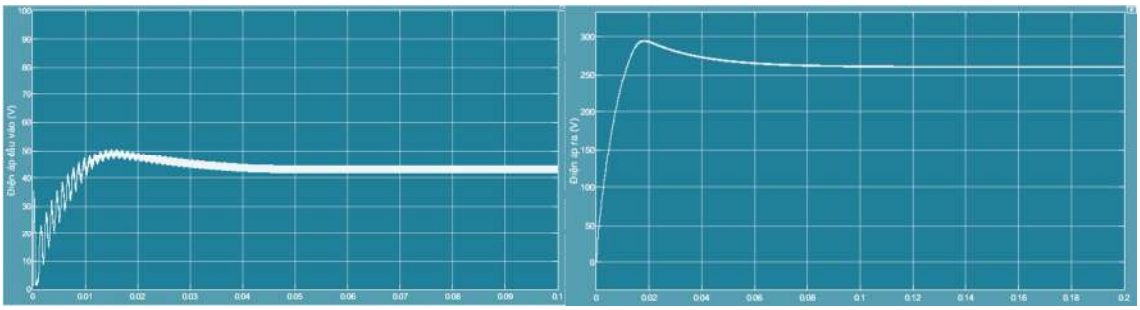


Hình 2. *Thông số kỹ thuật tấm Pin mặt trời.*



Hình 3. *Đáp ứng điện áp ra phía tải và hiệu suất của mạch.*

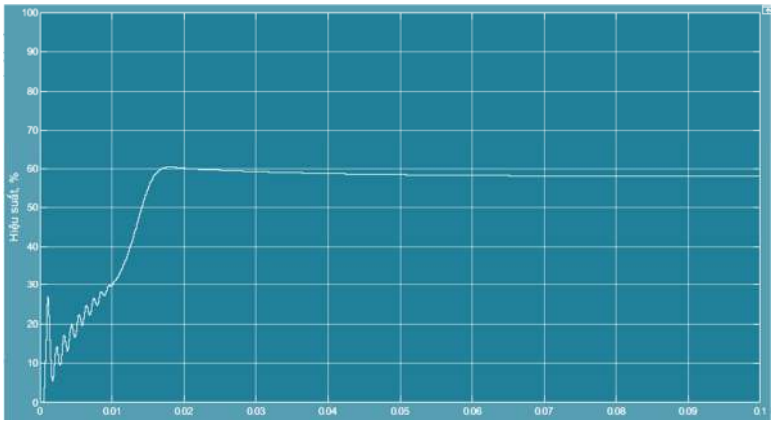
Trong hình 4 là đáp ứng điện áp và hiệu suất của mạch khi có bóng che không đồng đều, một tấm Pin bị che khuất trong khi vẫn giữ nguyên công suất tải, giá trị độ rộng xung và tần số đóng cắt. Qua đáp ứng điện áp thấy rằng, mặc dù bị che khuất nhưng tấm Pin vẫn có một lượng công suất phát nhất định và vẫn tồn tại một giá trị điện áp, dẫn đến điện áp đầu vào có giá trị khoảng 41 V (so với điện áp khi không bị che khuất mỗi tấm là 37 V). Điện áp ra của mạch giảm còn 260 V. Hiệu suất mạch lúc này giảm xuống do không còn được cung cấp đầy đủ năng lượng như ban đầu (hình 5).



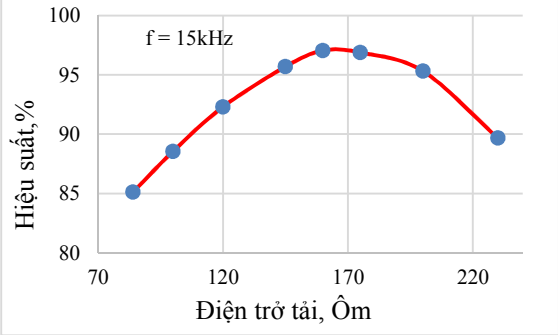
Hình 4. *Điện áp đầu vào và đáp ứng điện áp ra của mạch khi tấm Pin bị che khuất.*

Dễ thấy, so với trường hợp bức xạ đồng đều, điện áp đầu ra tấm Pin mặt trời có hiện tượng bị dao động nhỏ về mặt biên độ điện áp do bức xạ bị thay đổi, tuy nhiên, quá trình này xảy ra trong

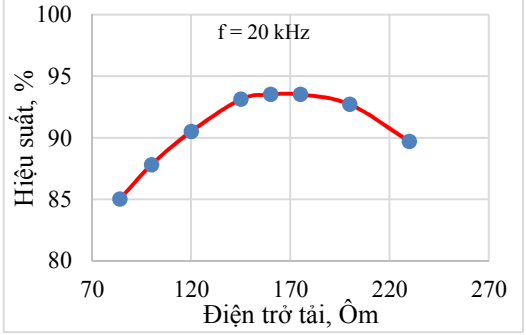
thời gian ngắn và khôi phục trở lại nhanh chóng sau 0,05 s. Hiệu suất của mạch cũng bị giảm tương ứng, khi lúc này nguồn cấp bị thiếu hụt, trong khi công suất tải không thay đổi. Khi đó, mạch vận hành như đang bị "quá tải" dẫn đến hiện tượng phát nóng và hiệu suất suy giảm (hình 5), thời gian để ổn định điện áp và công suất đầu ra cũng lâu hơn (khoảng 0,06 s ÷ 0,07 s). Trong hình 6 đến hình 10 biểu diễn hiệu suất của cấu hình đề xuất với điện áp đầu vào V_{in} = 72 V, hệ số D = 0.55 khi cho thay đổi tần số đóng cắt mạch. Hiệu suất đo được ở các mức tải khác nhau dưới tần số chuyển mạch khác nhau. Hiệu suất khi mô phỏng cao nhất của bộ biến đổi đổi là 97,05% ở tần số chuyển mạch f = 15 kHz. Ở các tần số đóng cắt cao hơn, hiệu suất của mạch tăng áp giảm dần do tổn thất đóng cắt tăng bởi hiệu ứng Joule.



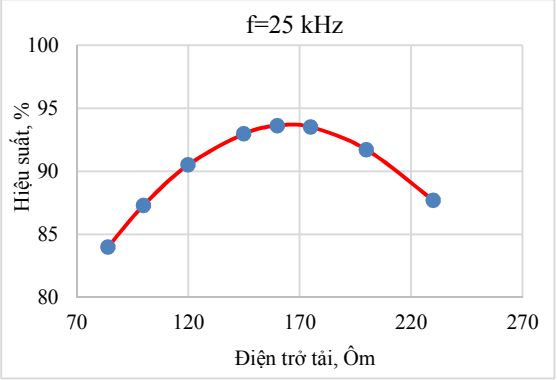
Hình 5. *Đáp ứng hiệu suất của mạch khi một tấm Pin bị che khuất.*



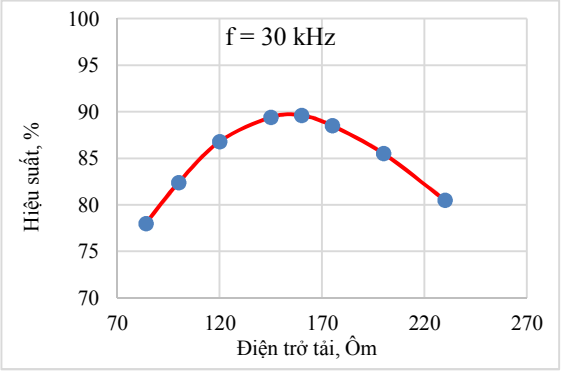
Hình 6. *Quan hệ giữa hiệu suất và điện trở tải khi tần số đóng cắt bằng 15 kHz.*



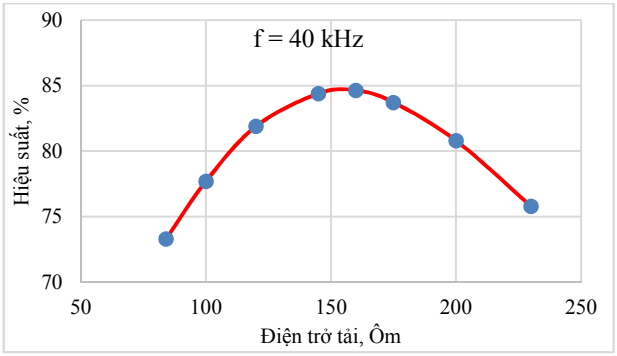
Hình 7. *Quan hệ giữa hiệu suất và điện trở tải khi tần số đóng cắt bằng 20 kHz.*



Hình 8. *Quan hệ giữa hiệu suất và điện trở tải khi tần số đóng cắt bằng 25 kHz.*

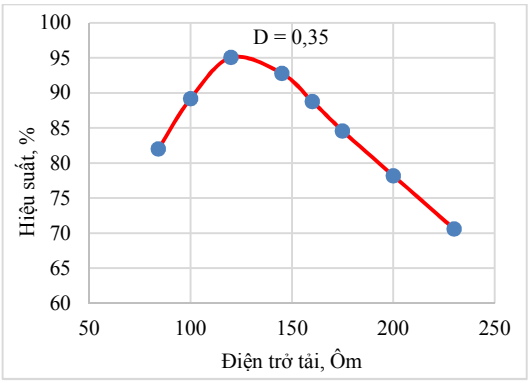


Hình 9. *Quan hệ giữa hiệu suất mạch và điện trở tải khi tần số đóng cắt bằng 30 kHz.*

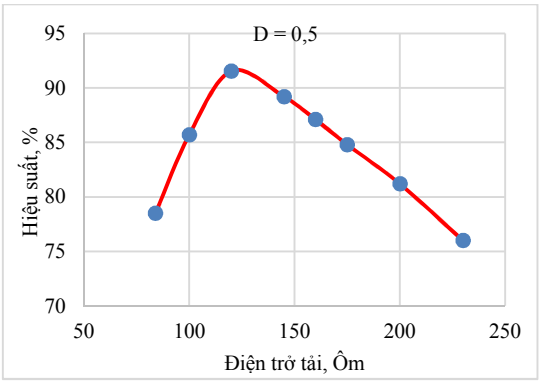


Hình 10. *Quan hệ giữa hiệu suất mạch và điện trở tải khi tần số đóng cắt bằng 40 kHz.*

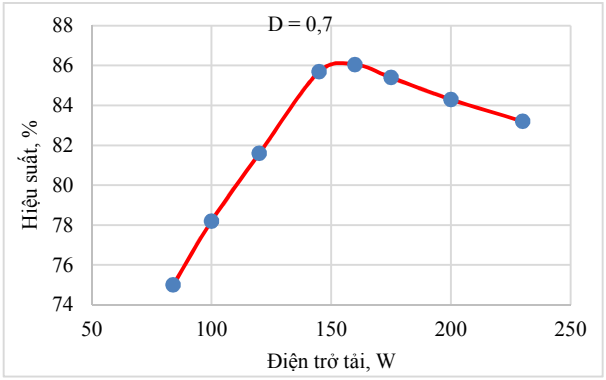
Với tần số chuyển mạch f = 15 kHz, điện áp đầu vào V_{in} = 72 V, hiệu suất khi mô phỏng được tính theo các mức tải khác nhau dưới các hệ số chu kỳ (D) khác nhau được thể hiện ở hình 11 đến hình 13. Hiệu suất cao nhất qua kết quả mô phỏng là 97,05% ở hệ số D = 0.35. Giá trị hiệu suất này có thể giảm khi chế tạo thực nghiệm bởi tồn tại tổn thất năng lượng trên các linh kiện, đặc biệt là điện trở nối tiếp tụ điện ESR mà trên phần mềm mô phỏng không thể mô tả chính xác được (không có thiết bị hỗ trợ nên không xác định được chính xác điện trở nối tiếp tụ điện ESR). Tuy nhiên, khi D thấp thì chất lượng sóng điện áp đầu ra của bộ chuyển đổi có chiều hướng "xấu hơn" khi D tăng.



Hình 11. *Quan hệ giữa hiệu suất và điện trở tải khi D = 0,35.*



Hình 12. *Quan hệ giữa hiệu suất và điện trở tải khi D = 0,5.*



Hình 13. *Quan hệ giữa hiệu suất và điện trở tải khi D = 0,7.*

Để tăng hiệu suất của mạch chuyển đổi của mạch thì vấn đề quan trọng là phải giảm được tổn thất trong mạch. Qua hai trường hợp mô phỏng điển hình đã cho thấy, cấu trúc đề xuất thể hiện

được một số ưu điểm nổi bật thông qua mô phỏng như sau:

- Tỷ số biến đổi điện áp lớn. Kết quả này không những có ý nghĩa ứng dụng trong hệ thống nguồn Pin mặt trời mà còn có ý nghĩa trong nhiều hệ năng lượng khác khi cần điện áp cao cấp cho tải hoặc các mạch sạc đa năng;

- Cấu trúc mạch giải quyết được vấn đề cân bằng điện áp ở đầu ra, khi chỉ cần thiết kế một bộ ổn định điện áp (bổ sung). Bộ điều khiển điện áp này hoàn toàn dễ dàng thực hiện cả trong mô phỏng và thực nghiệm, tuy nhiên, đây không phải là nội dung chủ yếu nên bài báo không đi sâu trình bày vấn đề này;

Mạch có cấu trúc hai tầng kênh, nên phù hợp với hầu hết các cấu trúc nghịch lưu đa bậc hình T khi có kết nối với bộ nghịch lưu DC/AC phía sau nó. Ngoài ra, hai tầng kênh còn cho phép đấu nối với các tấm Pin có xuất xứ khác nhau (điện áp ra tấm Pin khác nhau), nên thuận tiện trong quá trình thay thế, bảo dưỡng, ...;

Hiệu suất cao nhất của mạch đạt đến 97,05%. Đây có thể xem là mạch có hiệu suất cao so với các nghiên cứu ở đã công bố trong thời gian gần đây [10, 11]. Tuy nhiên, ở các chế độ vận hành khác nhau sẽ cho các giá trị hiệu suất khác nhau.

4. KẾT LUẬN

Hiệu suất của mạch tăng áp DC/DC cũng phụ thuộc vào nhiều yếu tố khác nhau như: cấu hình; thiết bị điện tử công suất; phương pháp điều khiển; kỹ thuật bám điểm công suất cực đại; điều kiện môi trường; công suất truyền tải qua bộ biến đổi;... Để thiết kế một bộ biến đổi theo mục tiêu có hiệu suất cao, tỷ số biến áp lớn,... phải có cách để giảm thiểu hoặc loại bỏ các tổn thất chuyển mạch. Với bộ tăng áp DC/DC, nếu cấu trúc không hợp lý, hiệu suất sẽ bị hạn chế do hệ thống có thêm khâu chỉnh lưu công suất và 2 diode ngăn chặn dòng điện xâm nhập ngược lại nguồn chỉnh lưu và nguồn từ bộ Boost DC/DC. Đặc biệt khi hệ thống có dòng điện lớn, thì tổn thất trên hai diode trên là rất đáng kể dẫn tới suy giảm hiệu suất toàn hệ thống. Bài báo này đã trình bày kết quả thiết kế, mô phỏng cấu hình tăng áp DC/DC mới có hệ số tăng áp cao hơn các cấu hình thông thường. Cấu trúc mạch có mức tổn thất nhỏ, tỷ số biến đổi điện áp cao. Kết quả mô phỏng đã cho thấy: cấu trúc mạch boost DC/DC đề xuất đã cải thiện được hiệu suất, nâng cao hiệu quả làm việc bộ biến đổi.

Đóng góp chính của bài báo là phát triển được một cấu hình bộ biến đổi xếp tầng trong đó đã phân chia công suất đầu vào cấp cho cuộn cảm, điều này thực sự có ý nghĩa trong việc giảm được tổn hao, nâng cao tỷ số biến đổi điện áp và chỉ tiêu chất lượng điện năng sẽ được cải thiện. Để tăng hiệu suất của bộ biến đổi của mạch thì kỹ thuật quan trọng là phải giảm được tổn thất trong mạch, tổn thất này phụ thuộc đặc tính V-A, đây là đặc tính phi tuyến, tuy nhiên, trong quá trình mô phỏng có thể thực hiện cài đặt trên Matlab/simulink. Với tổn thất trên cuộn cảm, để đánh giá về tổn thất cần có phần mềm chuyên dụng. Trong nghiên cứu tiếp theo, chúng tôi sẽ khai thác sâu hơn về đánh giá hiệu suất của mạch thông qua thực nghiệm thể hiện qua thông số đo lường được trực tiếp để kiểm chứng ưu điểm của cấu trúc đề xuất này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. TANG Binwei, YUAN Tiejiang, CHAO Qin, TUERXUN Yibulayin, *"Simulation Models for Photovoltaic and Grid-Connected Simulation Based on PSCAD"*. China Academic Journal Electronic Publish House. No21, 31-35, (2012).

[2]. M. Z. Shams El-Dein et al., *"Optimal Photovoltaic Array Reconfiguration to Reduce Partial Shading Losses"*, EEE Trans. on Sustainable Energy, Vol: 4, Issue: 1, 145 – 153, (2013).

[3]. M. Z. Shams El-Dein et al, *"Novel Configurations for Photovoltaic Farms to Reduce Partial Shading Losses"*, 978-1-4577-1002-5/11, (2011).

[4]. Yaw-Juen Wang and Po-Chun Hsu, *"An investigation on partial shading of PV modules with different connection configurations of PV cells"*, Energy 36, 3069-3078, (2011).

[5]. H. V. Bui, V. A. Truong, T. H. Quach, *"Optimizing the maximum power generation point of PV cells under shading conditions"*, Journal of Science and Technology Development, 3(1), 326-338, (2020).

[6]. X. T. Luong, V. H. Bui, D. T. Do, T. H. Quach and V. A. Truong, *"An Improvement of Maximum Power Point Tracking Algorithm Based on Particle Swarm Optimization Method for Photovoltaic System"*, 2020 5th International Conference on Green Technology and Sustainable Development, HCM City, Vietnam, pp. 53-58, doi: 10.1109/GTSD50082.2020.9303110, (2020).

[7]. BAO Cun-hui, *"Modeling and MPPT of photovoltaic power generation system"*. China Academic Journal Electronic Publish House. 2014.5(38), No5, 851- 854, (2014).

[8]. Rauschenbach H S, *Solar cell array design handbook*.USA: Litton Educational Publishing Inc, (1980).

[9]. M.B. Eteiba, E.T. El Shenawy, *"A Photovoltaic (Cell, Module, Array) Simulation and Monitoring Model using MATLAB/GUI Interface"*. International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 69– No.6, 14-28, (2013).

[10]. Lê Thị Minh Châu, Trần Anh Tuấn, Trịnh Tuấn Anh, Lê Đức Tùng, Dương Minh Quân, *"Nghiên cứu thiết kế bộ tăng áp DC/DC ứng dụng cho hệ thống pin năng lượng mặt trời"*. JST: Engineering and Technology for Sustainable Development Volume 31, Issue 3, 083-088, (2021).

[11]. Nguyễn Thị Bích Hậu, *"Nghiên cứu cấu hình tối ưu cho hệ thống năng lượng mặt trời hòa lưới"*. Tạp chí Khoa học Công nghệ và Thực phẩm 20 (4), 53-65, (2020).

ABSTRACT

Researching and designing the structure of Step-Up DC–DC Converters in solar cell power source converter

Step-Up DC–DC Converters in the solar cell system is designed to have consistent input voltage with the output voltage of the solar panel (usually in the range 24V-40V). This converter has a variation coefficient of voltage suitable for the load, compact size, high voltage variation ratio, large circuit efficiency. At the same time, DC/DC components need to be common to suit replication, suitable for many different origin solar panels integrated into the DC/DC unit input. In that view, the structure of Step-Up DC–DC Converters needs to have multiple inputs that may have different voltages in the range consistent the output voltage of the battery plate, the loss in the circuit should be reduced to a minimum, the undulating current through the inductor is low, the output voltage is balanced, stable. If the above technical problems can be solved, they will also contribute to solving the challenges posed for Step-Up DC–DC Converters in general and for solar cell power sources in particular. This paper presents the results of the design and test manufacturing of structure of a new Step-Up DC–DC Converters applied in the solar cell power source converter. Simulation results show: DC/DC booster efficiency reaches 95.07%.

Keywords: Step-Up DC–DC Converters; fs switching frequency; D duty cycle.